

# 유속지수법을 이용한 자동유량측정

## Automatic Discharge Measurement Using the Velocity Index Method

김치영\*, 김원\*\*, 이찬주\*\*\*, 김동구\*\*\*\*  
Chi Young Kim, Won Kim, Chan Joo Lee, Dong Gu Kim

### 요 지

최근 들어 전 세계적으로 유량측정 분야의 큰 변화의 방향은 자동화이다. 전자, 전기 기술과 정보통신 기술의 발달을 유량측정 분야에 적용하여 자동적으로 유량측정을 수행하고 실시간으로 모든 유량 자료를 수집하는 시스템을 구성하려는 연구가 활발하게 진행중이다. 최근에 초음파 유량계와 더불어 자동 유량측정 기법으로 각광을 받고 있는 기법이 유속지수법(index velocity method)이다.

유속지수법의 원리는 매우 간단하다. 수위 기록을 통하여 수위-면적 관계로부터 흐름 단면적을 구하고, 임의의 영역에서 측정된 유속이 단면 평균 유속으로 환산될 수 있다면, 흐름 단면적과 평균 유속에 의해 연속적으로 유량을 구할 수 있다.

유속지수법에서 가장 중요한 것이 전체 평균 유속을 대표할 수 있는 유속지수를 정확하고 효율적으로 측정하는 것이다. 유속지수법에 의한 연속 유량측정 목적으로 최근에 ADVM(Acoustic Doppler Velocity Meter)이 개발되어 이용되고 있다. ADVM은 수중에 초음파를 발사해서 산란체에서 반사되어 돌아오는 초음파의 주파수 편이, 즉 도플러 효과를 이용하여 유속을 측정하는 유속계이다.

본 연구에서는 ADVM을 괴산댐 하류에 위치한 시험하천에 설치하여, 유속지수법에 의한 유량측정 기법을 적용하고 그 특성을 분석하였다. 유속지수법으로 측정된 유량을 괴산댐 방류량과 비교한 결과 평균 4.0%의 상대오차를 지니고 있어 비교적 정확한 연속 유량측정이 가능한 것으로 나타났다. 이와 같은 유속지수법을 하천 유량측정에 활용하면 보다 정확한 유량을 연속적으로 자동화하여 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 : 유량측정, 유속지수법, 수위-유량관계, 자동 유량측정**

## 1. 유속지수법의 개념

유속지수법 뒤에 숨어있는 원칙은 매우 간단하다. 연속적인 수위 기록은 수위-면적 관계로부터 연속적인 흐름 단면적을 얻어낼 수 있는 수단을 제공한다. 한 지점이나 점, 횡단선(transverse line) 혹은 영역에 대하여 연속적으로 기록된 유속 지수가 횡단면에서 평균 유속에 대해서 관련지어질 수 있다면, 어느 순간이든지 횡단 면적과 평균 유속의 결과로부터 유량이 구해진다. 유속지수를 이용한 계산 유량( $Q_c$ )은 아래 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$Q_c = V_m A$$

여기에서 A는 수위-면적관계에 의해 산정된 유수 단면적,  $V_m$ 은 유속지수와 단면 평균 유속 관계로부터 구해진 평균유속이다. 유속지수법을 위해서는 수위-단면적 관계와 유속지수-평균유속관계 개발이 필요하며, 수위-면적관계는 측량을 통하여 생성될 수 있고, 유속지수-평균유속 관계는 유량측정

\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : cy\_kim@kict.re.kr

\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원-E-mail : wonkim@kict.re.kr

\*\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : c0gnitum@kict.re.kr

\*\*\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : kimdg@kict.re.kr

과 유속지수의 동시 측정을 통하여 만들어질 수 있다. 그림 1은 수위-면적관계 및 유속지수-평균유속의 관계를 나타내고 이들 관계를 이용하여 유량을 환산하는 과정을 나타낸 것이다.

## 2. 유속지수법 적용을 위한 현장 설치

유속지수를 구하기 위해 최근에는 초음파 유속계, ADVM(Acoustic Doppler Velocity Meter) 등이 개발되어 이용되고 있다. 본 연구에서는 유속지수법에 의한 수위-유속-유량관계를 개발하고, 그 특징을 분석하고자 괴산댐 하류 약 1km 지점에 ADVM을 설치하였다. 그림 2는 ADVM 설치 장면과 설치기기, 설치기기의 사양을 나타낸 것이다. 이 기기는 안정적인 측정을 위해 최소 1m 이상의 수심을 필요로 한다.

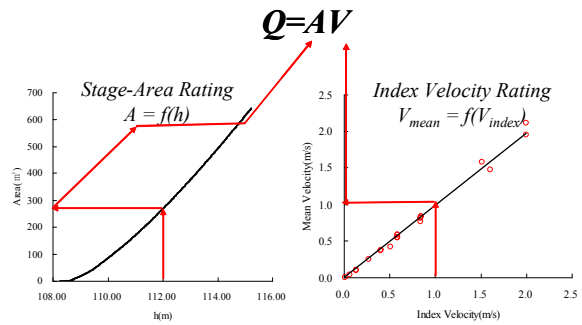


그림 1 유속지수법 개념

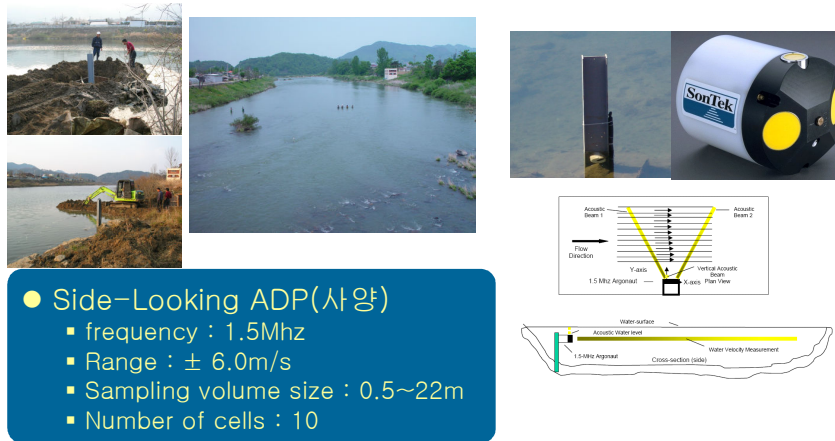


그림 2 ADVM 설치 및 사양

## 3. 유속지수법 개발

### 4.1. 수위-면적관계 개발

유속지수법에 의한 유량산정을 위해 수위에 따른 면적을 나타내는 관계를 수립해야 한다. 이러한 수위-면적관계를 개발하는 방법으로는 식으로 표현하는 방법이 있고, 각 수위에 따른 면적을 미리 표로 만들어 두고 측정된 수위에 따라 면적을 읽어오는 방법이 있다. 일반적으로 자연하천에서는 수위-면적관계의 정확성을 향상하기 위해 수위-면적관계 표를 이용한다. 그림 3은 횡단면을 나타내고, 그림 4는 이를 통해 계산된 수위-면적 관계를 도시한 것이다.

### 4.2. 유속지수 개발

유속지수법에 의한 유량 측정 방법은 위에서 수립된 수위-면적관계와 유속지수-평균유속관계를 곱하여 연속 유량으로 환산하는 기법이다. 이 관계를 개발하기 위해서는 ADVM과 단면 평균유속의 동시 측정이 필요하며, 자료의 수집 절차는 아래와 같다.

- ① 유속면적법, ADCP 등을 이용한 유량측정
- ② 각 유량측정동안 평균수위를 계산하고 수위-면적 관계를 이용하여 단면적 산정
- ③ 각 유량측정 성과를 단면적으로 나누어 평균유속 산정
- ④ 유량측정 시간동안 측정된 ADVM의 유속의 평균값을 ADVM의 유속으로 계산

⑤ 단면평균 유속과 ADVM 유속의 관계 개발

유속지수-평균유속 관계는 유량 규모 뿐 아니라 수위에 따라서도 변할 것이 예측되기 때문에 넓은 유량과 수위범위에서 유량측정 통해 이 관계를 개발할 필요가 있다. 유속지수-평균유속 관계를 개발하기 위해 2005년 22회 측정된 자료를 활용하여 개발하였다.

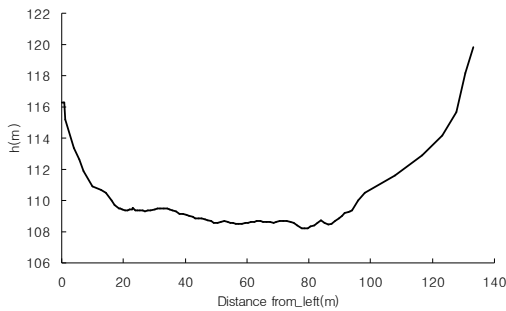


그림 3 설치지점 측량결과

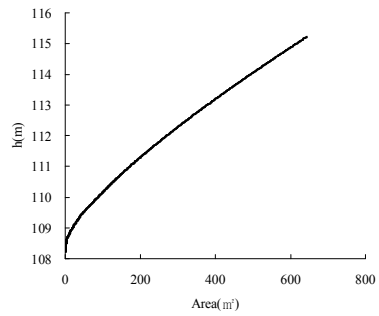


그림 4 수위-면적 관계

ADVM과 평균유속의 관계는 경우에 따라 하천 지형과 흐름특성에 따라 선형관계(linear)가 되기도 하고, 다른 경우에는 곡선 관계(curvilinear)나 복합 곡선 관계를 갖기도 한다. 만약 ADVM과 평균유속의 관계가 선형의 관계를 가진다면, 다음 선형 관계식에 의해 정의될 수 있다.

$$V_{mean} = s V_i + c$$

ADVM의 유속측정 범위가 수평방향으로 하도의 대부분을 차지하거나 연직방향의 측정 위치가 평균유속의 범위를 대표하는 위치에 있을 경우 관계식이  $\bar{V} = V_i$ 의 관계를 갖는다. 대부분의 자연하천의 경우 평균 유속은 ADVM의 유속과 같지 않다. 왜냐하면 대부분의 경우 ADVM의 유속이 하도의 일부분만을 측정하기 때문이고, 많은 경우 ADVM의 관계에서 수위변화 효과가 존재하기 때문이다.

수위변화가 커서 수위변화 효과가 유속지수-평균유속 관계에 영향을 미치는 경우 위의 선형식을 이용하지 않고 아래와 같이 수위를 추가 매개변수로 하는 식을 사용한다.

$$V_{mean} = V_i \times (s + bh) + c$$

여기에서  $V_{mean}$  은 횡단면의 평균유속,  $V_i$  는ADVM에 의해 측정된 유속지수,  $s$  는 곡선식의 기울기,  $b$ 는 상수,  $c$ 는  $y$  축의 절편이다.

괴산지점의 경우 수위변화 폭이 4m로 크기 때문에 수위 변화 효과 영향이 있을 것으로 예측되고, 회귀분석 결과 수위변화를 고려한 식이 적합도가 더 높아 수위변화를 고려한 식을 이용하여 유속지수-평균유속 관계를 개발하였다. 2005년에 괴산지점에서 개발된 식은 아래와 같다.

$$V_{mean} = V_i \times (-0.064 + 0.009 \times h)$$

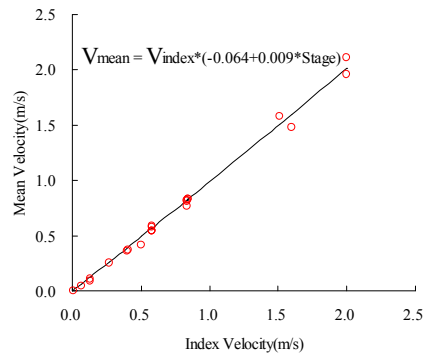


그림 5 유속지수-평균유속 관계

그림 5는 유속지수-평균유속 관계 개발에 이용된 자료와 관계식을 도시한 것이다.

#### 4. 측정결과 분석

괴산지점에서 개발된 수위-면적관계와 유속지수-평균유속관계를 이용해 유량을 연속적으로 측정하였다. 그림 6은 연속적으로 측정된 수위, X-Y방향의 유속, 유량, 신호 강도를 나타낸 것이다.



그림 6 측정 결과화면 예

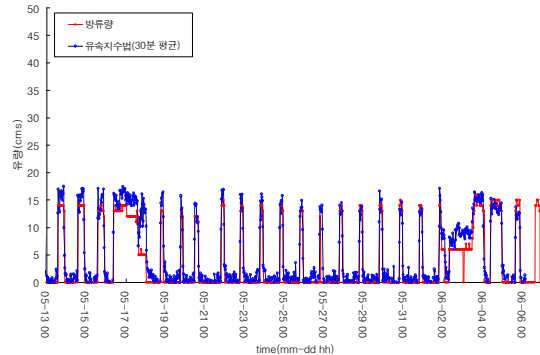


그림 7 측정결과(2005년 5월 ~ 6월)

괴산지점에서 2005년 3월부터 ADVM에 의해 수위와 유속을 측정해 오고 있으나, 2005년 5월에 하류에 보 공사로 인하여 흐름특성이 달라졌기 때문에 5월 이후 자료만을 이용해 유속지수-평균유속관계를 개발했고, 유량환산 또한 이 기간 자료를 이용하였다.

그림 7~그림 9에 환산된 유량자료를 도시하였다. 그림 7에 제시한 5월~6월 측정결과를 살펴보면 8cms 이하에서 유량자료의 진동이 크고 댐방류량과 차이가 나는 경향이 있다. 이는 측정된 수위값의 불안정에 기인한다. ADVM은 자체 초음파에 의해 수위측정을 하고 있지만 안정적인 수위 측정을 위해서는 적당한 수위를 확보해야 하나, 괴산지점의 경우 8cms 이하로 방류할 경우 수위가 현격하게 낮아져 안정적으로 수위를 측정하지 못한다. 이와 같은 원인으로 환산된 유량이 크게 진동하고 있으며, 댐 방류량과의 차이도 발생한다. 그림 8와 그림 9에서 보인 것과 같이 일부 기간에 댐방류량과 차이가 크게 발생한 경우가 있는데 괴산에 설치된 수위계의 거동 특성과 비교했을 경우 방류량 자료가 불확실한 것으로 평가된다. 그림 8~그림 9에 제시한 그림 중 일부 구간의 결측이 존재한다. 이와 같이 결측이 발생한 것은 단전, 낙뢰에 의한 전원공급 장치 손상 등에 의한 원인이다.

유속지수법에 의한 유량측정 결과의 정확도를 평가하기 위해 괴산댐 방류량과 비교하였다. 댐 방류량의 불확실성이 있으며, 댐 방류 후 ADVM 설치지점까지 방류수의 도달시간 등이 존재하여 연속자료의 정확도 평가는 수행하지 못하고, 방류량이 일정시간동안 유지된 경우 중 유량 규모별로 33개 자료를 추출해서 분석한 결과 평균 7.0%의 댐방류량 대비 상대오차를 지니고 있었다. 그리고 위에서 언급한 바와 같이 수위 자료가 불안정한 8cms 이하 자료를 제외하고 분석했을 경우 평균 4.0%의 높은 정확도를 지니고 있었다. 또한 유량측정 결과와 비교했을 경우 평균 4.5%의 상대오차를 지닌 것으로 나타났다. 그림 10과 그림 11은 댐방류량과 측정유량에 대한 유속지수법 측정유량의 산포도를 나타낸 것이다.

#### 5. 결론

유속지수법을 괴산댐 하류에 시험적용하여 평가한 결과 댐방류량 대비 7.0%, 수위 측정에 불안정이 있는 8cms 이하 구간을 제외하면 4.0%의 상대오차를 나타내 정확한 연속 유량측정이 가능한 것으로 나타났다. 또한 고리형 수위-유량관계를 나타내는 수위가 변하는 홍수기에 정확한 유량측정 가능하여

기존 수위-유량 관계에 의한 유량환산에서 발생할 수 있는 오차를 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의지속적확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-1-2)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

한국건설기술연구원(2006). 지표수 조사 시스템 적용에 관한 연구, 수자원의 지속적 확보기술 사업단 2차년도 요약보고서

Sloat, J.(2005). Application of a Sont다 Argonaut Side-Looking(SL) Doppler Flow Meter for Measuring Discharge and Total Volume on the Nazas River, Los Angeles, Lerdo, Durango, Mexico

Scott E. Morlock, Hieu T. Nguyen, and Jerry H. Ross(2002) Feasibility of Acoustic Doppler Velocity Meters for the Production of Discharge Records from U.S. Geological Survey Streamflow-Gaging Station, Water-Resources Investigations Report 01-4157, U.S. GEOLOGICAL SURVEY

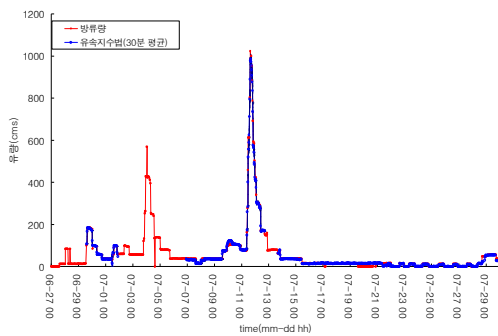


그림 8 측정결과(2005년 6월~7월)

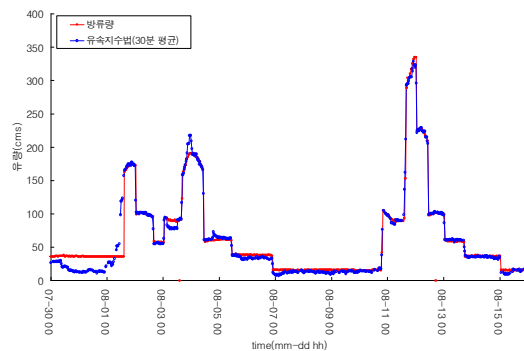


그림 9 측정결과(2005년 8월)

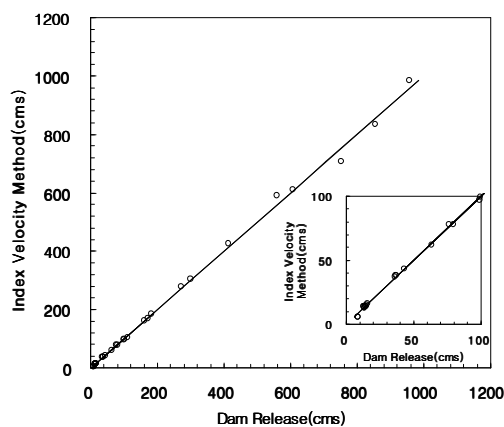


그림 10 정확도 비교(댐방류량)

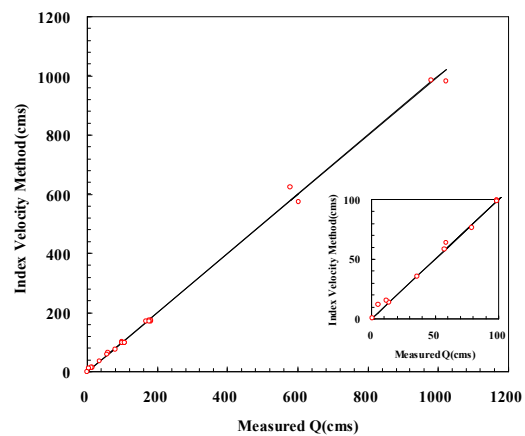


그림 11 정확도 비교(측정유량)